

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 12 813.8

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Anmeldetag:

22. März 2002

Anmelder/Inhaber:

Bosch Rexroth AG, Lohr am Main/DE

Bezeichnung:

Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der
Ausgangsspannung eines von einem Oszillator
gespeisten induktiven Wegaufnehmers

IPC:

G 01 B, G 01 D, H 03 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Februar 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Zusammenfassung

Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung eines von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmers

5 Bei einem Wegmeßumformer mit einem von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmer und einer diesem nachgeschalteten Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers verfälschen Störimpulse, die der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers überlagert sind und
10 bei der Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers mit gleichgerichtet werden, das Meßergebnis. Dies gilt insbesondere für nadelförmige Störimpulse mit großer Amplitude. Um derartige Verfälschungen des Meßergebnisses zu verringern, ist die Ausgangsspannung des induktiven Wegaufnehmers einer
15 rampenbildenden Schaltungsanordnung zugeführt, bei der das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens steuerbar ist. Das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens der rampenbildenden Schaltungsanordnung ist durch ein Schaltsignal gesteuert, dessen Flanken mit den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung
20 des induktiven Wegaufnehmers übereinstimmen. Derartige Wegmeßumformer werden zur Umformung der Position eines beweglichen Bauteils, z. B. des Steuerkolbens eines pneumatischen oder hydraulischen Ventils, in ein elektrisches Ausgangssignal, insbesondere in Form einer elektrischen Gleichspannung,
25 verwendet.

Beschreibung

Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung eines von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmers

5 Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung eines von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmers, deren Amplitude und Phasenlage ein Maß für die Auslenkung eines ferromagnetischen Kerns ist.

10 Derartige Schaltungsanordnungen bilden zusammen mit einem induktiven Wegaufnehmer und einem Oszillator, der die Primärwicklung des Wegaufnehmers speist, einen Wegmeßumformer, der die Auslenkung eines ferromagnetischen Kerns in eine elektrische Größe, insbesondere in eine elektrische Spannung, um-
15 formt, die ein Maß für die Auslenkung des Kerns ist. Die in Form einer modulierten Wechselspannung vorliegende Ausgangsspannung des induktiven Wegaufnehmers wird zur weiteren Verarbeitung in eine Gleichspannung umgeformt. Die entsprechend der Position des ferromagnetischen Kerns modulierte Wechsel-
20 spannung wird dabei so umgeformt, daß das Vorzeichen und die Höhe der Gleichspannung ein Maß für die Richtung und das Vorzeichen der Auslenkung des ferromagnetischen Kerns sind. Die Ausgangsspannung des Wegaufnehmers setzt sich aus dem im Folgenden als Nutzsignal bezeichneten, entsprechend der
25 Auslenkung des Kerns modulierten Trägersignal und aus diesem überlagerten Störsignalen zusammen. Die Störsignale werden insbesondere über die Sekundärwicklungen des Wegaufnehmers

oder über mit diesen in Verbindung stehende Leitungen aufgenommen. Die Frequenz der Störsignale ist in der Regel deutlich höher als die Frequenz des modulierten Trägersignals, die durch die Frequenz der dem Wegaufnehmer zugeführten Ausgangsspannung des Oszillators vorgegeben ist. Insbesondere nadelförmige Störimpulse großer Amplitude, die dem modulierten Trägersignal überlagert sind und die bei der Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers mit gleichgerichtet werden, verfälschen das Meßergebnis.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung der eingangs genannten Art zu schaffen, die eine Verfälschung des Meßergebnisses aufgrund von Störsignalanteilen der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers verringert.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst. Der in Verbindung mit der Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers eingesetzte Rampenbildner wirkt als nichtlineares Filter, das insbesondere Störimpulse mit steilem Anstieg und großer Amplitude begrenzt, die im Kleinsignalbereich liegenden Nutzsignale dagegen ungehindert weiterleitet. Diese Maßnahmen verbessern die Signalgüte der gleichgerichteten Spannung und verbessern damit auch die EMV-Eigenschaften des aus dem Wegaufnehmer und der Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers gebildeten Wegmeßumformers. Die Buchstaben EMV sind in diesem Zusammenhang eine übliche Abkürzung für „elektromagnetische Verträglichkeit“.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unter-
ansprüchen gekennzeichnet. In den Ansprüchen 2 und 3 sind
Maßnahmen zur Erzeugung des Vorzeichen des Übertragungs-
verhaltens steuernden Schaltsignals aus der Ausgangsspannung
des Oszillators angegeben. In den Ansprüchen 4 bis 18 sind
verschiedene Möglichkeiten für die Realisierung von rampen-
bildenden Schaltungsanordnungen angegeben, bei denen das
Vorzeichen des Übertragungsverhaltens steuerbar ist. In den
Ansprüchen 4 bis 13 sind Einzelheiten von derartigen Schal-
tungsanordnungen angegeben, die aus einer Verstärkerschaltung
mit steuerbarem Vorzeichen des Verstärkungsfaktors und einem
nachgeschalteten Rampenbildner ohne Vorzeichenumschaltung be-
stehen. Die Ansprüche 5 und 6 betreffen Ausgestaltungen einer
Verstärkerstufe mit steuerbarem Vorzeichen des Verstärkungs-
faktors. Die Ansprüche 7 bis 9 betreffen Ausgestaltungen von
Rampenbildnern mit invertierendem Übertragungsverhalten. Die
Ansprüche 10 bis 13 betreffen Ausgestaltungen von Rampenbild-
nern mit nichtinvertierendem Übertragungsverhalten. In den
Ansprüchen 14 bis 18 sind Einzelheiten von Rampenbildnern
angegeben, bei denen die Steuerung des Vorzeichens des Über-
tragungsverhaltens in den Rampenbildner integriert ist. Ein-
vorgeschalteter gesonderter Verstärker mit umschaltbaren Vor-
zeichen des Verstärkungsfaktors wird bei dieser Ausgestaltung
nicht benötigt. Die Maßnahmen des Anspruchs 17 ermöglichen
es, sowohl für ansteigende als auch für abfallende Signale
die gleiche Rampensteilheit vorzusehen. Die im Anspruchs 18
angegebene Maßnahme vermeidet ein undefiniertes Schwingver-
halten, wenn dem Rampenbildner kleine Eingangssignale zuge-
führt werden. Damit der Nutzanteil der Ausgangsspannung des
Wegaufnehmers durch den Rampenbildner nicht verfälscht wird,

ist die Rampensteilheit gemäß dem Anspruch 19 in vorteilhafter Weise so gewählt, daß sie größer als die maximale Steilheit des Nutzsignals ist. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die Rampensteilheit im Sinne einer besseren Begrenzung von Störimpulsen möglichst klein gewählt wird. Eine zusätzliche Glättung von Oberwellen der Ausgangsspannung des Rampenbildners erfolgt gemäß den Ansprüchen 20 bis 22 durch nachgeschaltete lineare Filter, z. B. in Form von aktiven Tiefpaßfiltern, die in vorteilhafter Weise als Besselfilter ausgebildet sind. Diese Filter lassen sich anders als nichtlineare Filter auf einfache Weise so dimensionieren, daß die Grenzfrequenz einen gewünschten Wert aufweist.

Die Erfindung wird im Folgenden mit ihren weiteren Einzelheiten anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen

Figur 1 einen von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmer und eine erste erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung des Wegaufnehmers,

Figur 2 einen nichtinvertierenden Rampenbildner,

Figur 3 eine Ausgestaltung des in der Figur 2 dargestellten nichtinvertierenden Rampenbildners,

Figur 4 eine zweite erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung eines Wegaufnehmers mit einem von nichtinvertierenden auf

invertierendes Übertragungsverhalten umschaltbaren
Rampenbildner und

Figur 5. einen von einem Oszillator gespeisten induktiven
Wegaufnehmer, eine Ausgestaltung des in der Figur 4
dargestellten Rampenbildners und ein diesem nachge-
schaltetes lineares Filter.

Die Figur 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines Wegmeßumformers
mit einer ersten rampenbildenden Schaltungsanordnung 10 gemäß
der Erfindung. Derartige Wegmeßumformer werden z. B. verwen-
det, um die Auslenkung des Steuerkolbens eines pneumatischen
oder hydraulischen Ventils aus seiner Mittellage in ein elek-
trisches Signal umzuformen. Der Schaltungsanordnung 10 ist
die Ausgangsspannung u_1 eines induktiven Wegaufnehmers 11
zugeführt. Der Wegaufnehmer 11 ist mit einer Primärwicklung
12 und zwei Sekundärwicklungen 13 und 14 versehen. Zwischen
der Primärwicklung 12 und den Sekundärwicklungen 13, 14 ist
ein verschiebbarer ferromagnetischer Kern 15 angeordnet, des-
sen Position mit s bezeichnet ist. Der Kern 15 ist aus seiner
in der Figur 1 dargestellten Mittellage nach oben oder nach
unten auslenkbar. In der Mittellage des Kerns 15 ist $s = 0$.
Auslenkungen nach oben werden im Folgenden als positive Werte
von s bezeichnet. Entsprechend werden Auslenkungen nach unten
als negative Werte von s bezeichnet. Der Primärwicklung 12
ist die Ausgangsspannung u_0 eines Oszillators 17 zugeführt,
deren zeitlicher Verlauf in diesem Ausführungsbeispiel sinus-
förmig sei. Möglich ist aber auch z. B. ein dreieckförmiger
oder rechteckförmiger Verlauf der Ausgangsspannung u_0 des Os-
zillators 17. Die Windungen der Sekundärwicklungen 13 und 14

sind so angeordnet, daß die in ihnen induzierten Spannungen gegeneinander gerichtet sind. Befindet sich bei $s = 0$ der Kern 15 in der Mittellage, sind die in den Sekundärwicklungen 13 und 14 induzierten Spannungen betragsmäßig gleich groß. Da die Spannungen der Sekundärwicklungen gegeneinander gerichtet sind, ist die Amplitude der resultierenden Spannung u_1 gleich Null. Betrachtet man zunächst eine positive Auslenkung des Kerns 15, so erhöht sich die Amplitude der Spannung u_1 , wenn der Kern 15 weiter in positiver Richtung ausgelenkt wird. Die Spannung u_1 ist im Idealfall, also bei einem Wegaufnehmer in Form eines idealen Übertragers, mit der Spannung u_0 in Phase. In der Praxis kann jedoch in der Regel nicht von einem idealen Übertrager ausgegangen werden. Die Spannung u_1 ist daher in der Praxis um einen festen Winkel $\Delta\phi$, dessen Größe durch den Aufbau des Wegaufnehmers bestimmt ist, gegenüber der Spannung u_0 verschoben. Die Phasenverschiebung $\Delta\phi$ ist unabhängig von der Auslenkung des Kerns 15 und liegt in einer Größenordnung von 10° . Bei negativer Auslenkung des Kerns 15 ist die Phasenlage der Spannung u_1 um 180° gegenüber dem Wert $\Delta\phi$, der sich bei positiver Auslenkung des Kerns 15 ergibt, verschoben. Es handelt es sich hier um eine Phasenverschiebung der Spannung u_1 gegenüber der Spannung u_0 , die nur von der Richtung der Auslenkung des Kerns 15 abhängig ist. Bei der Auslenkung des Kerns 15 des Wegaufnehmers 11 kann es sich, wie in der Figur 1 dargestellt, um eine Längsbewegung aber z. B. auch um eine Drehbewegung handeln.

Die Ausgangsspannung u_0 des Oszillators 17 ist außerdem einem Signalformer 18 zugeführt. Der Signalformer 18 weist zusätzlich zu einer Komparatorfunktion eine Totzeit Δt auf. Er er-

zeugt in den Nulldurchgängen der Spannung u_0 ein Schaltsignal und verschiebt dessen Flanken um die Totzeit Δt . Die Dauer der Totzeit Δt ist dabei so bemessen, daß - unter Berücksichtigung der Frequenz der Spannung u_0 - die Flanken des resultierenden Schaltsignals, das im Folgenden mit u_0^* bezeichnet ist, gegenüber den Nulldurchgängen der Spannung u_0 um den Winkel $\Delta\phi$ verschoben ist. Dies bedeutet, daß die Flanken des Schaltsignals u_0^* mit den Nulldurchgängen des Nutzsignalanteils der Spannung u_1 übereinstimmen. Diese Art der Erzeugung des Schaltsignals u_0^* hat gegenüber einer direkten Erzeugung des Schaltsignals aus der Spannung u_1 den Vorteil, daß die Phasenlage des Schaltsignals eindeutig an die Spannung u_0 gekoppelt ist und daß auch dann ein als Schaltsignal geeignetes Signal zur Verfügung steht, wenn die Amplitude der Spannung u_1 sehr klein oder gleich Null ist.

Die in der Figur 1 dargestellte rampenbildende Schaltungsanordnung 10 besteht aus einer Verstärkerschaltung 20 mit steuerbarem Vorzeichen des Verstärkungsfaktors und einem dieser nachgeschalteten Rampenbildner 21 mit invertierendem Übertragungsverhalten. Die Verstärkerschaltung 20 weist einen Operationsverstärker 23 auf, dessen Ausgangsspannung mit u_2 bezeichnet ist. Die Spannung u_2 ist gleichzeitig die Ausgangsspannung der Verstärkerschaltung 20. Dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 23 sind die Spannung u_1 über einen Widerstand 24 und die Spannung u_2 über einen Widerstand 25 zugeführt. Dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 23 ist die Spannung u_1 über einen Widerstand 26 zugeführt. Zusätzlich ist zwischen dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 23 und Bezugspotential ein

elektronischer Schalter 27 angeordnet. Dem elektronischen Schalter 27 ist das Schaltsignal u_0^* als Steuersignal zugeführt. Bei geschlossenem Schalter 27 ist der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers 23 mit Bezugspotential verbunden. Die Verstärkerschaltung 20 verhält sich bei geschlossenem Schalter 27 wie ein invertierender Verstärker. Sind die Widerstände 24 und 25 gleich groß gewählt, beträgt der Verstärkungsfaktor $V = -1$, d. h. für die Spannung u_2 gilt die Beziehung $u_2 = -u_1$. Ist dagegen der Schalter 27 geöffnet, verhält sich die Verstärkerschaltung 20 wie ein nichtinvertierender Verstärker mit dem Verstärkungsfaktor $V = 1$, d. h. für die Spannung u_2 gilt die Beziehung $u_2 = u_1$.

Der Rampenbildner 21 weist zwei Operationsverstärker 30 und 31 auf, deren Ausgangsspannungen mit u_3 bzw. u_4 bezeichnet sind. Die Spannung u_4 ist gleichzeitig die Ausgangsspannung des Rampenbildners 21 sowie der rampenbildenden Schaltungsanordnung 10. Dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 sind die Spannung u_2 über einen Widerstand 32 und die Spannung u_4 über einen Widerstand 33 zugeführt. Damit die Spannungen u_2 und u_4 im eingeschwungenen Zustand betragsmäßig gleich groß sind, sind die Widerstände 32 und 33 gleich groß gewählt. Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers 30 ist mit Bezugspotential verbunden. Dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 31 sind die Spannung u_3 über einen Widerstand 34 und die Spannung u_4 über einen Kondensator 35 zugeführt. Der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers 31 ist mit Bezugspotential verbunden. Der Operationsverstärker 31, der Widerstand 34 und der Kondensator 35 bilden in an sich bekannter Weise einen Integra-

tor. Die Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung u_4 ist durch die Größe des Widerstands 34 und des Kondensators 35, die die Zeitkonstante des Integrators bilden, und die Höhe der dem Widerstand 34 zugeführten Spannung u_3 bestimmt. Bei einer sprungförmigen Änderung der Spannung u_2 ist die Spannung u_3 gleich der positiven oder der negativen Versorgungsspannung des Operationsverstärkers 30, je nachdem ob die Differenz zwischen den Spannungen u_2 und u_4 positiv oder negativ ist. Die Spannung u_4 folgt der Spannung u_2 nach einer Rampenfunktion, bis die Spannung u_4 - wegen des invertierenden Übertragungsverhaltens des Rampenbildners 21 - gleich $-u_2$ ist. Eine Begrenzung von in der Spannung u_2 enthaltenen Störsignalen erfolgt erfindungsgemäß durch den Rampenbildner 21. Diese Begrenzung ist besonders bei nadelförmig ausgebildeten Störsignalen wirksam. Die Rampensteilheit des Rampenbildners 21 ist so gewählt, daß sie im Hinblick auf eine wirksame Begrenzung von Störungen möglichst klein ist, jedoch im Hinblick auf eine im Wesentlichen unbeeinflusste Weiterleitung des Nutzsignals der Ausgangsspannung u_1 des Wegaufnehmers 11 größer als die maximale Steilheit des Nutzsignals ist.

Die Figur 2 zeigt einen Rampenbildner 38 mit nichtinvertierendem Übertragungsverhalten, der anstelle des in der Figur 1 dargestellten Rampenbildners 21 mit invertierendem Übertragungsverhalten einsetzbar ist. Soweit in der Figur 2 dargestellte Bauteile mit denen der Figur 1 übereinstimmen, sind sie mit den gleichen Bezugszeichen wie dort versehen. Die Spannung u_2 ist dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 direkt zugeführt. Die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 31, die auch die Ausgangsspannung des

Rampenbildners 38 ist, ist wegen dessen nichtinvertierenden Übertragungsverhaltens nicht mit u_4 sondern mit u_6 bezeichnet. Entsprechend ist die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers 30 nicht mit u_3 sondern mit u_5 bezeichnet.

5 Die Figur 3 zeigt einen weiteren Rampenbildner 39 mit nicht-invertierendem Übertragungsverhalten. Gegenüber dem in der Figur 2 dargestellten Rampenbildner 38 sind drei weitere Widerstände 41, 42 und 43 vorgesehen. Diese drei Widerstände
10 bewirken jedoch keine grundsätzliche Änderung des Übertragungsverhaltens des Rampenbildners 39 gegenüber demjenigen des Rampenbildners 38. Für die Ausgangsspannungen der Operationsverstärker 30 und 31 werden deshalb wie in der Figur 2 die Bezeichnungen u_5 bzw. u_6 verwendet. Da über den Widerstand 41 kein Strom fließt, fällt an ihm keine Spannung ab,
15 so daß die dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 zugeführte Spannung auch in diesem Fall gleich u_2 ist. Die dem nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 zugeführte Spannung stellt sich so ein, daß sie gleich der dem invertierenden Eingang zugeführten Spannung u_2 ist. Dies ist dann der Fall, wenn die Spannung u_6 gleich der Spannung u_2 ist. Wie unten anhand der Figur 4 noch im Einzelnen erläutert wird, erhält man einen Rampenbildner mit invertierendem Übertragungsverhalten, wenn man den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 mit Bezugspotential verbindet. Bis auf den Widerstand 41, an dem in diesem Fall die Spannung u_2 abfällt, entspricht ein derartiger Rampenbildner
25 dem in der Figur 1 dargestellten Rampenbildner 21.

Die Figur 4 zeigt einen von nichtinvertierendem auf invertierendes Übertragungsverhalten umschaltbaren Rampenbildner 45, dessen Ausgangsspannung mit u_8 bezeichnet ist. Bei diesem Rampenbildner handelt es sich um eine Ausgestaltung des in der Figur 3 dargestellten Rampenbildners 39, bei dem zusätzlich ein elektronischer Schalter 46 zwischen dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 30 und Bezugspotential angeordnet ist. Ist der Schalter 46 geschlossen, weist der Rampenbildner 45 invertierendes Übertragungsverhalten auf, d. h. das Vorzeichen der Spannung u_8 ist entgegengesetzt zu dem Vorzeichen der dem Rampenbildner 45 als Eingangsspannung zugeführten Spannung u_1 gerichtet. Ist der Schalter 46 dagegen geöffnet, weist der Rampenbildner 45 nichtinvertierendes Übertragungsverhalten auf, d. h. das Vorzeichen der Spannung u_8 ist gleich dem Vorzeichen der Spannung u_1 . Damit die Spannungen u_1 und u_8 auch bei invertierendem Übertragungsverhalten im eingeschwungenen Zustand betragsmäßig gleich groß sind, sind die Widerstände 42 und 43 gleich groß gewählt. Da - wie oben ausgeführt - das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens des Rampenbildners 45 umschaltbar ist, kann die aus der Verstärkerschaltung 20 und einem der Rampenbildner 21 oder 38 ohne Vorzeichenumschaltung gebildete rampenbildende Schaltungsanordnung 20 durch den gesteuerten Rampenbildner 45 ersetzt werden, bei dem die Umschaltung des Vorzeichen des Übertragungsverhaltens in den Rampenbildner integriert ist. Da in diesem Fall die in der Figur 1 dargestellte Verstärkerschaltung 20 nicht erforderlich ist, ist dem Rampenbildner 45 die Ausgangsspannung u_1 des Wegaufnehmers 11 als Eingangsspannung zugeführt. Die Steuerung des Schalters 46 und damit

des Vorzeichens des Übertragungsverhaltens des Rampenbildners 45 erfolgt durch das Schaltsignal u_0^* .

Die Figur 5 zeigt das Prinzipschaltbild eines weiteren Wegmeßumformers. Bei diesem Wegmeßumformer ist die Ausgangsspannung u_1 des von dem Oszillator 17 gespeisten induktiven Wegaufnehmers 11 einem erfindungsgemäßen Rampenbildner 48 zugeführt, bei dem das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens steuerbar ist. Dem Rampenbildner 48 ist ein lineares Filter 50 nachgeschaltet. Bei dem Rampenbildner 48 handelt es sich um eine Ausgestaltung des in der Figur 4 dargestellten Rampenbildners 45. Soweit in der Figur 5 dargestellte Bauteile mit denen der Figuren 1 und 4 übereinstimmen, sind sie mit den gleichen Bezugszeichen wie dort versehen. Zwischen dem Ausgang des Operationsverstärkers 30 und dem Widerstand 34 ist ein weiterer Widerstand 51 angeordnet. Der Verbindungspunkt der beiden Widerstände ist mit dem Bezugszeichen 52 versehen. Der Schaltungspunkt 52 ist über eine Diode 54 mit einer negativen Hilfsspannung $-U_H$ und über eine weitere Diode 55 mit einer positiven Hilfsspannung $+U_H$ verbunden. Die Hilfsspannungen $-U_H$ und $+U_H$ begrenzen die mit u_9 bezeichnete Spannung an dem Schaltungspunkt 52, die dem aus dem Operationsverstärker 31, dem Widerstand 34 und dem Kondensator 35 gebildeten Integrator zugeführt ist, auf einen Wert, der bei negativem Vorzeichen der Spannung u_7 um die Durchlaßspannung der Diode 54 kleiner als die Hilfsspannung $-U_H$ und bei positivem Vorzeichen der Spannung u_7 um die Durchlaßspannung der Diode 55 größer als die Hilfsspannung $+U_H$ ist. Damit ist dafür gesorgt, daß die Rampensteilheit sowohl für ansteigende als auch für abfallende Signale gleich groß ist. Der Betrag

der Hilfsspannungen $-U_H$ und $+U_H$ ist kleiner gewählt als die Spannung u_7 bei Übersteuerung des Operationsverstärkers 30. Parallel zu der Reihenschaltung der Widerstände 34 und 51 ist ein Kondensator 58 angeordnet. Der Kondensator 58 vermeidet
5 ein undefiniertes Schwingverhalten des Rampenbildners 48, wenn die seinem Eingang zugeführten Signale klein sind.

Bei der Spannung u_8 handelt es sich um eine Gleichspannung, der Oberwellen mit der doppelten Frequenz der Ausgangsspannung u_0 des Oszillators 17 überlagert sind. Das dem Rampenbildner 48 nachgeschaltete lineare Filter 50 glättet diese
10 Oberwellen der Spannung u_8 in an sich bekannter Weise. Bei dem Filter 50 handelt es sich um ein aktives Tiefpaßfilter zweiter Ordnung mit Einfachmitkopplung, das vorzugsweise als Besselfilter ausgebildet ist. Das Filter 50 enthält einen
15 Operationsverstärker 60, zwei Widerstände 61 und 62 sowie zwei Kondensatoren 63 und 64. Ein derartiges Filter ist z. B. aus dem Buch von Tietze - Schenk „Halbleiter-Schaltungstechnik“, Springer-Verlag 1986, 8. überarbeitete Auflage, Seiten 405 bis 407, insbesondere Abb. 14.22 auf Seite 406, bekannt. Die Ausgangsspannung des Tiefpaßfilters 50 ist mit u_{10} bezeichnet. Die Spannung u_{10} ist ein Maß für die Auslenkung des
Kerns 15 des induktiven Wegaufnehmers 11. Die Polarität der Spannung u_{10} ist dabei ein Maß für die Richtung der Auslenkung und die Höhe der Spannung u_{10} ist ein Maß für die Größe
25 der Auslenkung des Kern 15 aus seiner Mittelstellung. Ist eine stärkere Glättung der Oberwellen erforderlich, können dem Filter 50 weitere derartige Filter nachgeschaltet werden.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Gleichrichtung der Ausgangsspannung eines von einem Oszillator gespeisten induktiven Wegaufnehmers, deren Amplitude und Phasenlage ein Maß für die Auslenkung eines ferromagnetischen Kerns ist, **dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) einer rampenbildenden Schaltungsanordnung (10; 45; 48) zugeführt ist,
- daß das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens der rampenbildenden Schaltungsanordnung (10; 45; 48) steuerbar ist und
- daß die Steuerung des Vorzeichens des Übertragungsverhaltens der rampenbildenden Schaltungsanordnung (10; 45; 48) durch ein Schaltsignal (u_0^*) erfolgt, dessen Flanken mit den Nulldurchgängen der Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) übereinstimmen.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß ein Signalformer (18) mit Komparatorfunktion und Totzeit (Δt) die Ausgangsspannung (u_0) des Oszillators (17) in das Schaltsignal (u_0^*) umformt.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Totzeit (Δt) des Signalformers (18) die Phasenlage des Schaltsignals (u_0^*) derart um einen Winkel ($\Delta\phi$) gegenüber der Ausgangsspannung (u_0) des Oszillators (17) verschiebt, daß die Flanken des Schaltsignals (u_0^*) mit den

Nulldurchgängen der Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) übereinstimmen.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,**

- 5 - daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) einer Verstärkerschaltung (20) mit steuerbarem Vorzeichen des Verstärkungsfaktors zugeführt ist,
- 10 - daß das Vorzeichen des Verstärkungsfaktors der Verstärkerschaltung (20) in Abhängigkeit von dem Schaltsignal (u_0^*) gesteuert ist und
- daß der Verstärkerschaltung (20) ein Rampenbildner (21; 38) nachgeschaltet ist, bei dem keine Vorzeichenumschaltung erfolgt.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,**

- 15 - daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) dem invertierenden Eingang (-) eines ersten Operationsverstärkers (23) über einen ersten Widerstand (24) zugeführt ist,
- 20 - daß die Ausgangsspannung (u_2) des ersten Operationsverstärkers (23) seinem invertierenden Eingang (-) über einen zweiten Widerstand (25) zugeführt ist,
- daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) dem nichtinvertierenden Eingang (+) des ersten Operationsverstärkers (23) über einen dritten Widerstand (26)
- 25 zugeführt ist und
- daß der nichtinvertierende Eingang (+) des ersten Operationsverstärkers (23) über einen von einem Schaltsignal

(u_0^*) gesteuerten Schalter (27) mit Bezugspotential (1) verbunden ist.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der erste (24) und der zweite (25) Widerstand
5 gleich groß sind.

7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rampenbildner (21) invertierendes Übertragungsverhalten aufweist.

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**,
10

- daß der Rampenbildner (21) einen zweiten (30) und einen dritten (31) Operationsverstärker aufweist,
- daß dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) die Ausgangsspannung (u_2) der Verstärkerschaltung (20) über einen vierten Widerstand (32) und die Ausgangsspannung (u_4) des dritten Operationsverstärkers (31) über einen fünften Widerstand (33) zugeführt
15 sind,

- daß der invertierende Eingang (-) des zweiten Operationsverstärkers (30) mit Bezugspotential (1) verbunden ist,
20 - daß dem invertierenden Eingang (-) des dritten Operationsverstärkers (31) seine Ausgangsspannung (u_4) über einen Kondensator (35) und die Ausgangsspannung (u_3) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen sechsten Widerstand
25 (34) zugeführt sind und

- daß der nichtinvertierende Eingang (+) des dritten Operationsverstärkers (31) mit Bezugspotential (\perp) verbunden ist.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vierte (32) und der fünfte (33) Widerstand gleich groß sind.

10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rampenbildner (38) nichtinvertierendes Übertragungsverhalten aufweist.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**,

- daß der Rampenbildner (38) einen zweiten (30) und einen dritten (31) Operationsverstärker aufweist,
- daß dem invertierenden Eingang (-) des zweiten Operationsverstärkers (30) die Ausgangsspannung (u_2) der Verstärkerschaltung (20) zugeführt ist,
- daß dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) die Ausgangsspannung (u_6) des Rampenbildners (38) zugeführt ist,
- daß dem invertierenden Eingang (-) des dritten Operationsverstärkers (31) seine Ausgangsspannung (u_6) über einen Kondensator (35) und die Ausgangsspannung (u_5) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen sechsten Widerstand (34) zugeführt sind und
- daß der nichtinvertierende Eingang (+) des dritten Operationsverstärkers (31) mit Bezugspotential (\perp) verbunden ist.

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Ausgangsspannung (u_2) der Verstärkerschaltung (20) dem invertierenden Eingang (-) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen siebten Widerstand (41) zugeführt ist,
- daß die Ausgangsspannung (u_2) der Verstärkerschaltung (20) dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen achten Widerstand (42) zugeführt ist und,
- daß zwischen dem Ausgang des dritten Operationsverstärkers (31) und dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) ein neunter Widerstand (43) angeordnet ist.

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet,** daß der achte (42) und der neunte (43) Widerstand gleich groß sind.

14. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,**

- daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) einem gesteuerten Rampenbildner (45; 48) zugeführt ist, der zwischen invertierendem und nichtinvertierendem Übertragungsverhalten umschaltbar ist, und
- daß das Vorzeichen des Übertragungsverhaltens in Abhängigkeit von dem Schaltsignal (u_0^*) gesteuert ist.

15. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet,**

- daß der gesteuerte Rampenbildner (45) einen zweiten (30) und einen dritten (31) Operationsverstärker aufweist,
- 5 - daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) dem invertierenden Eingang (-) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen siebten Widerstand (41) zugeführt ist,
- daß zwischen dem invertierenden Eingang (-) des zweiten Operationsverstärkers (30) und Bezugspotential (1) ein von dem Schaltsignal (u_0^*) gesteuerter Schalter (46) angeordnet ist,
- daß die Ausgangsspannung (u_1) des induktiven Wegaufnehmers (11) dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen achten Widerstand (42) zugeführt ist,
- 15 - daß die Ausgangsspannung (u_8) des gesteuerten Rampenbildners (45) dem nichtinvertierenden Eingang (+) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen neunten Widerstand (43) zugeführt ist,
- 20 - daß dem invertierenden Eingang (-) des dritten Operationsverstärkers (31) seine Ausgangsspannung (u_8) über einen Kondensator (35) und die Ausgangsspannung (u_7) des zweiten Operationsverstärkers (30) über einen sechsten Widerstand (34) zugeführt sind und
- 25 - daß der nichtinvertierende Eingang (+) des dritten Operationsverstärkers (31) mit Bezugspotential (1) verbunden ist.

16. Schaltungsanordnung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß der achte (42) und der neunte (43) Widerstand gleich groß sind.

17. Schaltungsanordnung nach Anspruch 15 oder Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**,

- daß zwischen dem Ausgang des zweiten Operationsverstärkers (30) und dem sechsten Widerstand (34) ein zehnter Widerstand (51) angeordnet ist,
- daß der Verbindungspunkt (52) des zehnten Widerstands (51) mit dem sechsten Widerstand (34) über eine erste Diode (54) mit einer negativen Hilfsspannung ($-U_H$) und über eine zweite Diode (55) mit einer betragsmäßig gleich großen positiven Hilfsspannung ($+U_H$) verbunden ist und
- daß der Betrag der Hilfsspannungen ($-U_H$, $+U_H$) kleiner als der Betrag der Ausgangsspannung (u_7) des zweiten Operationsverstärkers (30) bei Übersteuerung ist.

18. Schaltungsanordnung nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein zweiter Kondensator (58) parallel zu der Reihenschaltung des sechsten (34) und des zehnten (51) Widerstands angeordnet ist.

19. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rampensteilheit des Rampenbildners (21; 38; 45; 48) größer als die maximale Steilheit des Nutzsignals der Ausgangsspannung (u_1) des Wegaufnehmers (11) ist.

20. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der rampenbildenden Schaltungsanordnung (10; 45; 48) mindestens ein lineares Filter (50) nachgeschaltet ist.

5 21. Schaltungsanordnung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß das lineare Filter (50) ein aktives Tiefpaßfilter zweiter Ordnung mit Einfachmitkopplung ist.

22. Schaltungsanordnung nach Anspruch 20 oder Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß das lineare Filter (50) als
10 Besselfilter ausgebildet ist.

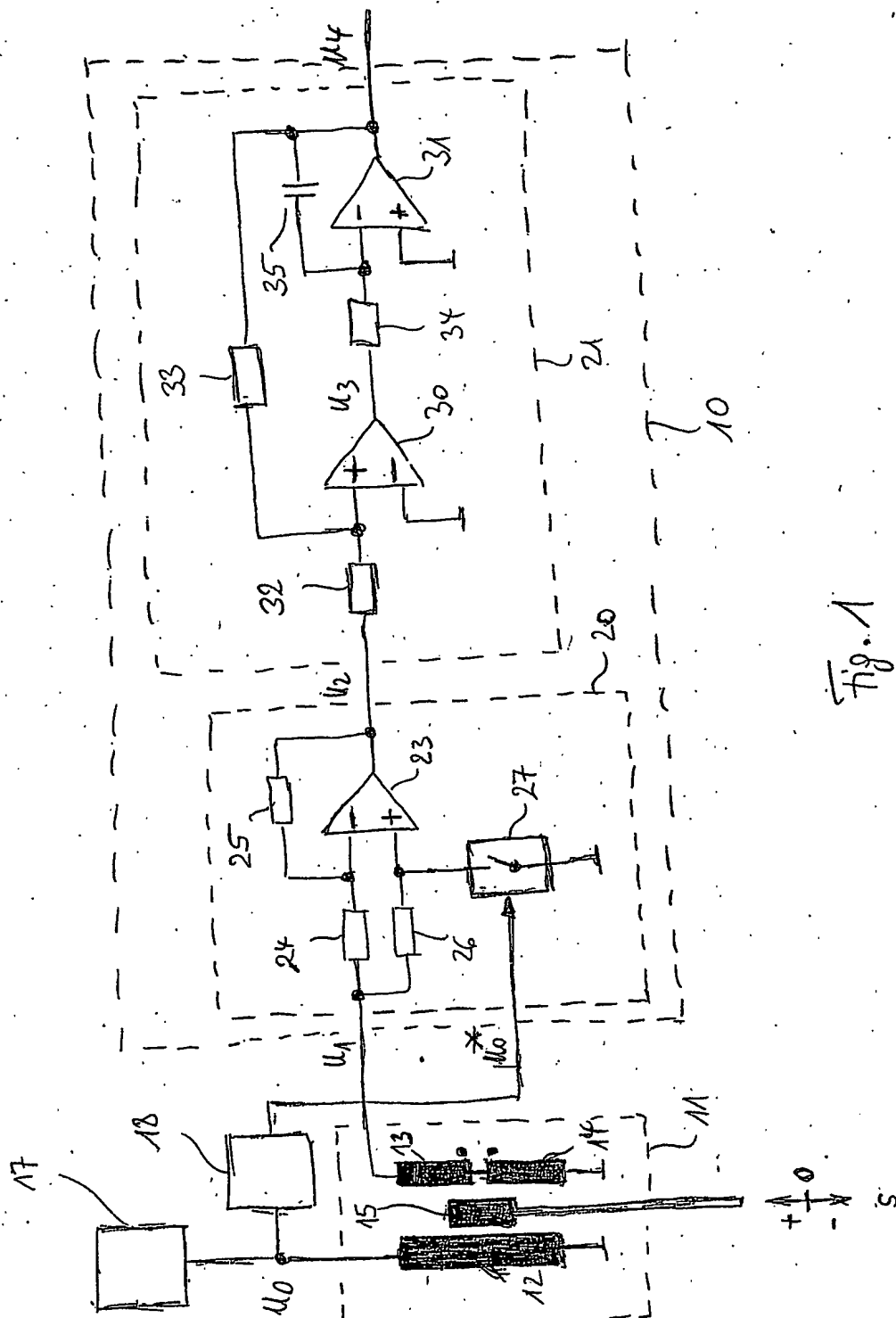


Fig. 1

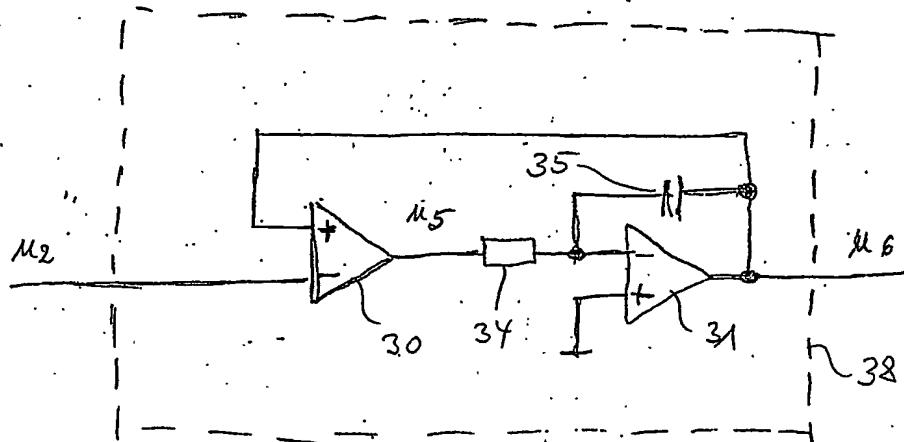


Fig. 2

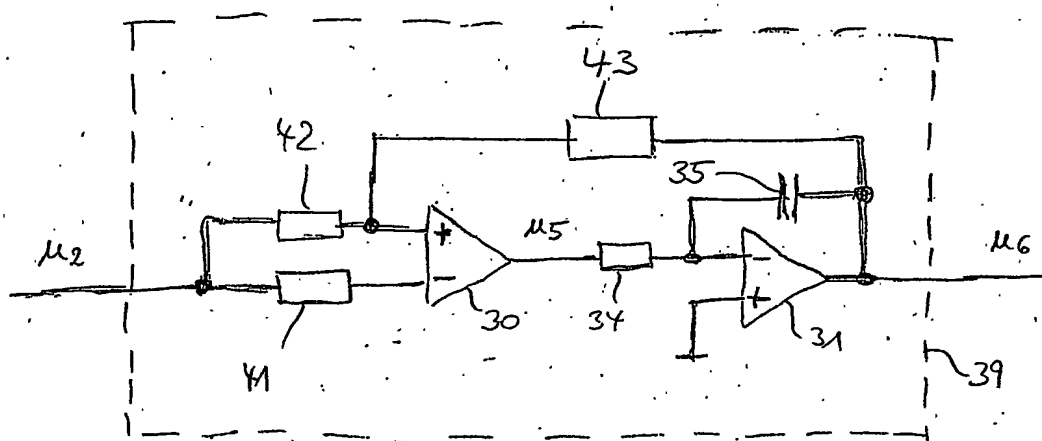


Fig. 3

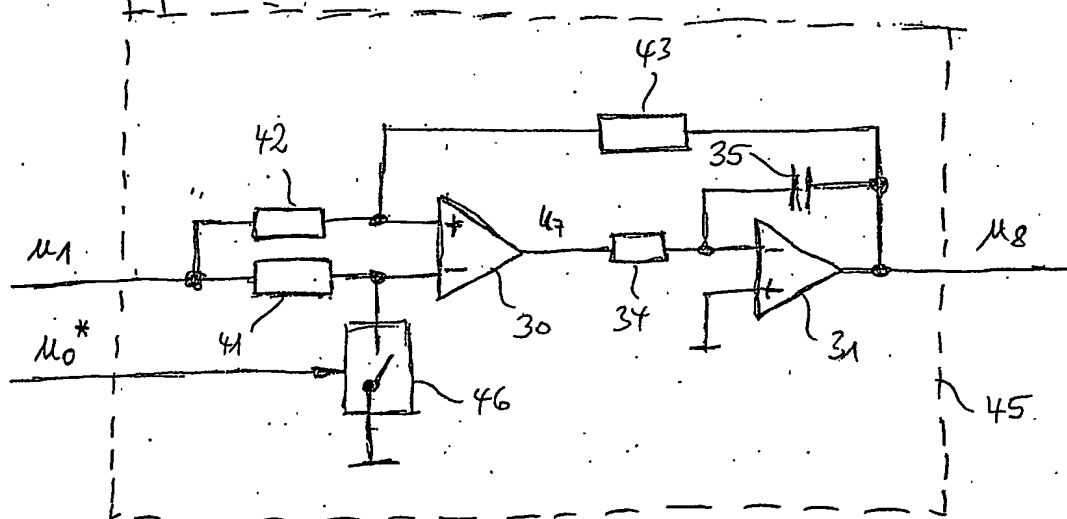


Fig. 4

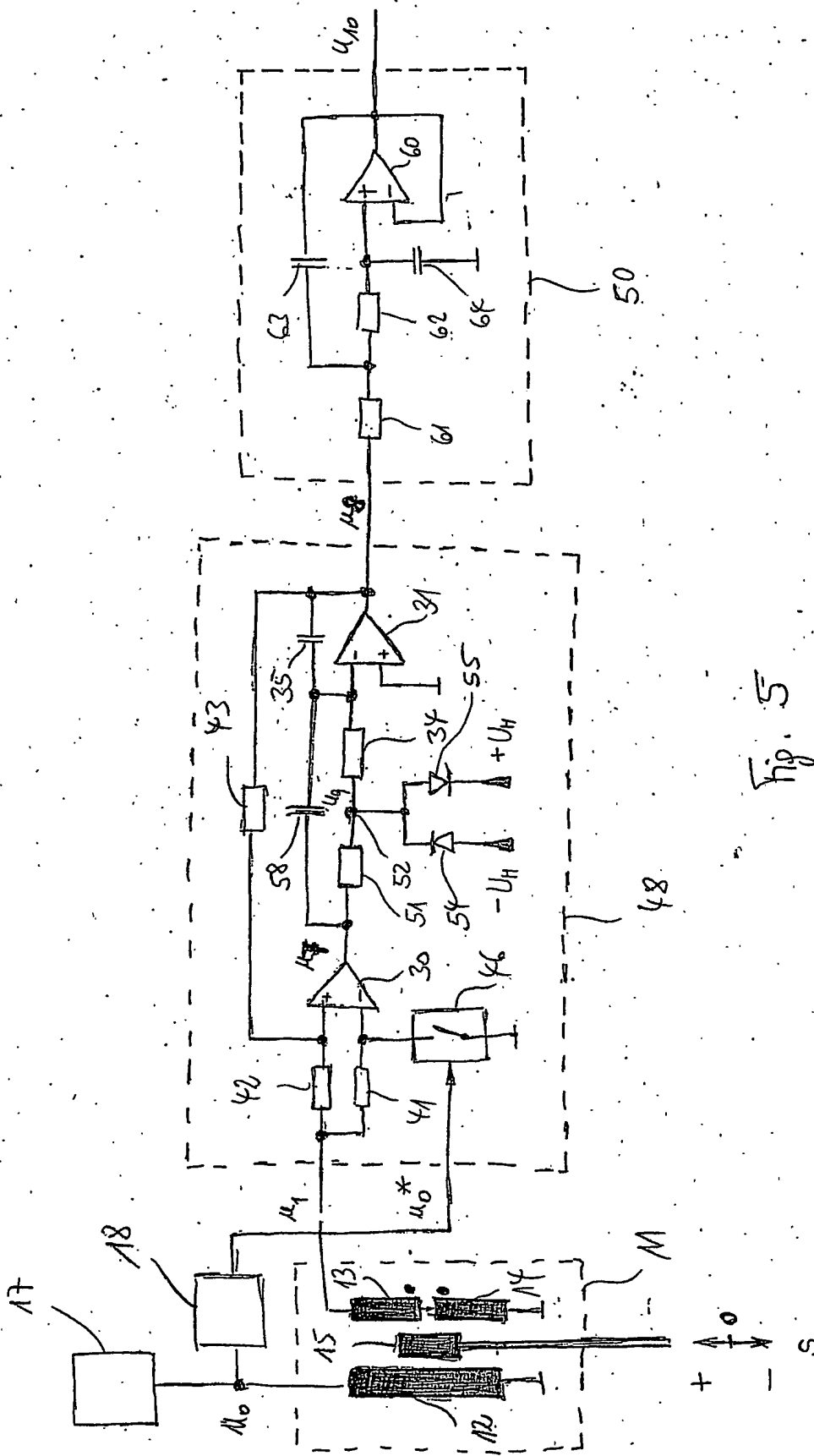


Fig. 5

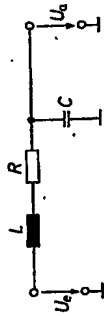


Abb. 14.20 Passiver Tiefpaß zweiter Ordnung.

Für einen Butterworth-Tiefpaß zweiter Ordnung entnimmt man aus Abb. 14.14 die Koeffizienten $a_1 = 1,414$ und $b_1 = 1,000$. Gibt man eine Grenzfrequenz $f_g = 10 \text{ Hz}$ und eine Kapazität $C = 10 \mu\text{F}$ vor, folgt $R = 2,25 \text{ k}\Omega$ und $L = 25,3 \text{ H}$. Man erkennt, daß sich ein solches Filter wegen der Größe der Induktivität außerordentlich schlecht realisieren läßt. Die Verwendung von Induktivitäten läßt sich umgehen, indem man sie mit einer aktiven RC-Schaltung simuliert. Dazu kann man die Gyrationsschaltung in Abb. 12.42 heranziehen. Der schaltungstechnische Aufwand ist jedoch beträchtlich.

Die gewünschten Übertragungsfunktionen lassen sich wesentlich einfacher durch geeignete RC-Beschaltung von Operationsverstärkern ohne den Umweg über die Simulation von Induktivitäten realisieren.

14.4.2 Filter mit Mehrfachgegenkopplung

Die Übertragungsfunktion des aktiven Tiefpaßfilters in Abb. 14.21 lautet

$$A(P) = -\frac{R_2/R_1}{1 + \omega_g C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right) P + \omega_g^2 C_1 C_2 R_2 R_3 P^2}$$

Durch Koeffizientenvergleich mit Gl. (14.17) erhalten wir die Beziehungen

$$\begin{aligned} A_0 &= -R_2/R_1, \\ a_1 &= \omega_g C_1 \left(R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} \right), \\ b_1 &= \omega_g^2 C_1 C_2 R_2 R_3. \end{aligned}$$

Zur Dimensionierung kann man z.B. die Widerstände R_1 und R_3 vorgeben und aus den Dimensionierungsgleichungen R_2 , C_1 und C_2 berechnen. Wie man sieht, ist eine Dimensionierung für alle positiven Werte von a_1 und b_1 möglich. Man kann also jeden gewünschten Filtertyp realisieren. Die Gleichspannungsverstärkung A_0 ist negativ. Das Filter bewirkt bei tiefen Frequenzen demnach eine Signalinversion.

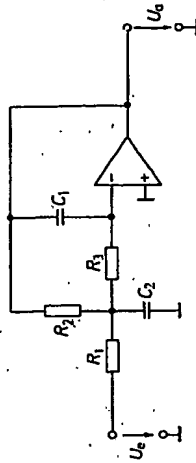


Abb. 14.21 Aktives Tiefpaßfilter zweiter Ordnung mit Mehrfachgegenkopplung

Um wirklich die gewünschten Frequenzgänge zu erhalten, dürfen die Bauelemente keine zu großen Toleranzen besitzen. Diese Forderung ist für Widerstände leicht zu erfüllen, da sie in der Normreihe E96 mit einprozentiger Toleranz lagermäßig geführt werden. Anders verhält es sich mit Kondensatoren. Sie besitzen in der Regel Toleranzen von 10 % oder mehr und sind meist nur in der Normreihe E6 erhältlich. Daher ist es vorteilhaft, bei der Dimensionierung von Filtern die Kondensatoren vorzugeben und die Widerstandswerte zu berechnen. Dazu lösen wir die Dimensionierungsgleichungen nach den Widerständen auf und erhalten

$$R_2 = \frac{a_1 C_2 - \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4 C_1 C_2 b_1 (1 - A_0)}}{4 \pi f_g C_1 C_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{-A_0}$$

$$R_3 = \frac{b_1}{4 \pi^2 f_g^2 C_1 C_2 R_2}$$

Damit sich für R_2 ein reeller Wert ergibt, muß die Bedingung

$$\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4 b_1 (1 - A_0)}{a_1^2}$$

erfüllt sein. Die günstigste Dimensionierung ergibt sich, wenn man C_2/C_1 nicht viel größer wählt, als es die obige Bedingung vorschreibt. Die Daten des Filters sind relativ unempfindlich gegenüber Bauteiletoleranzen. Daher ist die Schaltung besonders geeignet zur Realisierung von Filtern mit höherer Güte.

14.4.3 Filter mit Einfachmitkopplung

Aktive Filter lassen sich auch durch mitgekoppelte Verstärker realisieren. Allerdings muß die Verstärkung durch eine interne Gegenkopplung auf einen genau definierten Wert festgelegt werden („controlled source“). Der Spannungsteiler R_3 , $(\alpha - 1)R_3$ in Abb. 14.22 be-

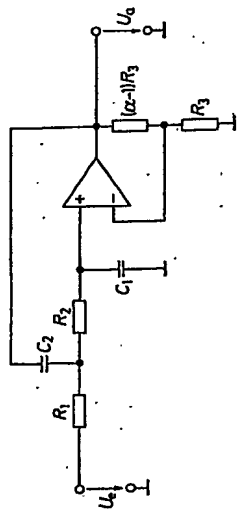


Abb. 14.22 Aktives Tiefpaßfilter zweiter Ordnung mit Einfachmitkopplung

wirkt diese Gegenkopplung und stellt die innere Verstärkung auf den Wert α ein. Die Mitkopplung erfolgt über den Kondensator C_2 . Für die Übertragungsfunktion ergibt sich

$$A(P) = \frac{\alpha}{1 + \omega_g [C_1(R_1 + R_2) + (1 - \alpha)R_1 C_2]P + \omega_g^2 R_1 R_2 C_1 C_2 P^2}$$

Die Dimensionierung läßt sich wesentlich vereinfachen, wenn man von vornherein gewisse Spezialisierungen vornimmt. Eine mögliche Spezialisierung ist, die innere Verstärkung $\alpha = 1$ zu wählen. Dann wird $(\alpha - 1)R_2 = 0$, und beide Widerstände R_2 können entfallen. Solche voll gegengekoppelten Operationsverstärker sind als Spannungsfolger integriert erhältlich (z.B. LM 310). Oft genügt auch ein einfacher Impedanzwandler, z.B. in Form einer Darlington-Schaltung. Damit lassen sich auch Filter im MHz-Bereich realisieren. Für den Sonderfall $\alpha = 1$ lautet die Übertragungsfunktion

$$A(P) = \frac{1}{1 + \omega_g C_1(R_1 + R_2)P + \omega_g^2 R_1 R_2 C_1 C_2 P^2}$$

Gibt man C_1 und C_2 vor, erhält man durch Koeffizientenvergleich mit Gl. (14.17)

$$A_0 = 1,$$

$$R_{1/2} = \frac{a_1 C_2 \mp \sqrt{a_1^2 C_2^2 - 4b_1 C_1 C_2}}{4\pi f_g C_1 C_2}$$

Damit sich reelle Werte ergeben, muß die Bedingung

$$\frac{C_2}{C_1} \geq \frac{4b_1}{a_1^2}$$

erfüllt sein. Wie bei dem Filter mit Mehrfachgegenkopplung ergibt sich die günstigste Dimensionierung, wenn man das Verhältnis C_2/C_1 nicht viel größer wählt, als es die obige Bedingung vorschreibt.

Kritisch	Bessel	Butterworth	3 dB-Tschebyscheff	ungedämpft
α	1,000	1,268	1,586	2,234
				3,000

Abb. 14.23 Innere Verstärkung bei Einfachmitkopplung

Zu einer anderen interessanten Spezialisierung gelangt man, wenn man gleiche Widerstände und gleiche Kondensatoren einsetzt, d.h. $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$ wählt. Um die verschiedenen Filtertypen realisieren zu können, muß man in diesem Fall die innere Verstärkung α variieren. Die Übertragungsfunktion lautet dann

$$A(P) = \frac{\alpha}{1 + \omega_g RC(3 - \alpha)P + (\omega_g RC)^2 P^2}$$

Durch Koeffizientenvergleich mit Gl. (14.17) erhalten wir die Dimensionierung

$$RC = \frac{\sqrt{b_1}}{2\pi f_g},$$

$$\alpha = A_0 = 3 - \frac{a_1}{\sqrt{b_1}} = 3 - \frac{1}{Q_1}$$

Wie man sieht, hängt die innere Verstärkung α nur von der Polgüte und nicht von der Grenzfrequenz f_g ab. Die Größe α bestimmt daher den Filtertyp. Setzt man die in Abb. 14.14 angegebenen Koeffizienten der Filter zweiter Ordnung ein, erhält man die in Abb. 14.23 angegebenen Werte für α . Bei $\alpha = 3$ schwingt die Schaltung selbständig auf der Frequenz $f = 1/(2\pi RC)$. Man erkennt, daß die Einstellung der inneren Verstärkung um so schwieriger wird, je näher sie dem Wert $\alpha = 3$ kommt. Daher ist besonders beim Tschebyscheff-Filter eine sehr genaue Einstellung notwendig. Dies ist ein gewisser Nachteil gegenüber den vorhergehenden Filtern. Ein bedeutender Vorteil ist jedoch, daß der Filtertyp ausschließlich durch α bestimmt wird und nicht von R und C abhängt. Daher läßt sich die Grenzfrequenz bei diesem Filter besonders einfach verändern, z.B. mit einem Doppelpotentiometer für die beiden gleichen Widerstände R_1 und R_2 in Abb. 14.22.

Vertauscht man die Widerstände mit den Kondensatoren, erhält man das Hochpaßfilter in Abb. 14.24. Seine Übertragungsfunktion lautet

$$A(P) = \frac{\alpha}{1 + \frac{R_2(C_1 + C_2) + R_1 C_2(1 - \alpha)}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_g} P + \frac{1}{P} + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2 \omega_g^2} P^2}$$

U. Tietze · Ch. Schenk

Halbleiter-Schaltungstechnik

Achte, überarbeitete Auflage

Mit 1017 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1986

Dr.-Ing. Ulrich Tietze

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technische Elektronik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 9, 8520 Erlangen

Dr.-Ing. Christoph Schenk

Geschäftsführender Gesellschafter der Dr. Schenk GmbH,
Industriemess-technik, Bunsenstr. 4a, 8033 Martinsried, München

Übersetzt in folgende Sprachen:

- Polnisch: Naukowo-Techniczne, Warschau 1976
- Englisch: Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1978
- Ungarisch: Műszaki, Budapest 1981
- Russisch: Mir, Moskau 1982
- Spanisch: Marcombo, Barcelona 1983
- Italienisch: Edizioni di Scienza e Technica 1986
- Chinesisch: 1985

ISBN 3-540-16720-X 8. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-16720-X 8th edition Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin
ISBN 3-540-13134-7 7. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-15134-6 7th edition Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek
Tietze, Ulrich: Halbleiter-Schaltungstechnik / U. Tietze; Ch. Schenk. - 8., überarb. Aufl.
Berlin : Heidelberg : New York : London : Paris : Tokyo : Springer, 1986.
ISBN 3-540-16720-X (Berlin ...)
ISBN 0-387-16720-X (New York ...)
NE: Schenk, Christoph

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die Verwertungsgesellschaft Wort, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin · Heidelberg 1969, 1971, 1974, 1976, 1978, 1980, 1983, 1985 und 1986
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Wir übernehmen auch keine Gewähr, daß die in diesem Buch enthaltenen Angaben frei von Patentrechten sind; durch diese Veröffentlichung wird weder stillschweigend noch sonstige eine Lizenz auf etwa bestehende Patente erteilt.

Satz: H. Sittler AG, Würzburg und H. Hagedorn GmbH & Co., Berlin
Druck: Runkel-Druck W. Runkel GmbH & Co., Berlin
Bindarbeiten: Lillieritz & Bauer-GmbH, Berlin
2362.3020-54321

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.